

Strukturgeologische Studien als Beitrag zum Erfolg tiefen- geothermischer Projekte

Poster

Sonja L. Philipp¹ Asdis Oelrich¹
 Christian Müller¹ Stefan Hoffmann¹
 Tobias Bartelsen¹ Denise Thäter¹
 Agust Gudmundsson¹

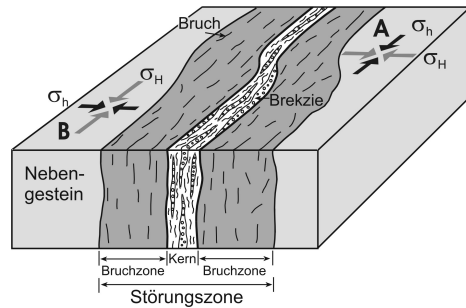


Abbildung 1: Hydromechanische Einheiten von Störungszonen: Störungskern und Bruchzone (verändert nach Gudmundsson et al. 2002). Erläuterung im Text.

Strukturgeologie und Geothermie

Bei der tiefen Geothermie werden zur Schaffung eines künstlichen geothermischen Reservoirs unterirdische Wärmetauscher erzeugt. Zur Wärme- und Stromerzeugung wird dann wiederholt Wasser in den Untergrund verpresst, welches erhitzt und wieder gefördert wird. Dafür werden im Allgemeinen Systeme aus Injektions- und Förderbohrungen („Dublekken“) von 2–5 km Tiefe verwendet, um die erforderlichen Temperaturen zu erreichen. Der kritische Parameter für die wirtschaftliche Nutzbarkeit geothermischer Reservoirs („Erfolg“) ist jedoch eine nötige hohe Permeabilität. In den meisten Reservoirs müssen zu niedrige natürliche Permeabilitäten — oder zu kleine Wärmeaustauschflächen — durch die Öffnung bzw. Scherung vorhandener Brüche oder die Erzeugung künstlicher hydraulischer Brüche erhöht werden („Reservoirstimulation“). Um Stimulationen erfolgreich durchzuführen, müssen dabei das vorhandene Bruchsystem und das gegenwärtige Spannungsfeld möglichst genau bekannt sein. Dafür sind strukturgeologische Studien von besonderer Bedeutung (vgl. Philipp et al. 2005).

Zu Beginn sollten detaillierte geologische Kartierungen im Bereich potentieller Bohrungen durchgeführt werden sowie Informationen über den geologischen Untergrund ausgewertet werden. Dabei sollte der Schwerpunkt auf dem Auffinden von Störungszonen liegen, da diese entweder Barrieren für den Fluidtransport darstellen können oder aber Fluide bevorzugt transportieren. Störungszonen bestehen im Allgemeinen aus zwei hydromechanischen Einheiten: dem Störungskern und der Bruchzone (Abb. 1). Der Störungskern besteht aus Brekzien und Letten und ist in einer aktiven Störungszone durch hohe Permeabilität geprägt, sonst jedoch meist sehr dicht und eher eine Barriere für den Fluidtransport (Gudmundsson et al. 2002). In der Bruchzone mit zahlreichen Brüchen, meist subparallel zur Störungsfläche orientiert, hängt die Permeabilität der Bruchsysteme besonders vom Vernetzungsgrad der Brüche und dem lokalen Spannungsfeld ab.

In vielen Reservoirgesteinen ist die Matrixpermeabilität gering, so dass Fluidtransport besonders durch Brüche stattfindet (‚bruchkontrollierte Reservoir‘).

¹ Geowissenschaftliches Zentrum der Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Strukturgeologie und Geodynamik, Goldschmidtstr. 3, 37077 Göttingen

Fluidtransport zwischen zwei Punkten A und B in einem bruchkontrollierten Reservoir findet gewöhnlich nur dann statt, wenn die Perkolationschwelle erreicht wird, d.h. dass diese Punkte durch ein zusammenhängendes Bruchnetzwerk miteinander verbunden sind (Stauffer & Aharony 1994). Um die Permeabilität von Gesteinen in potentiellen Reservoiren in geothermisch interessanten Tiefen abzuschätzen, sind Prognosen über die Geometrie existierender Brüche (insbesondere deren Orientierung und Öffnungsweite) sowie deren Vernetzung zu Bruchsystemen nötig. Da seismische Verfahren und Bohrkerne dafür nicht ausreichen, sind strukturgeologische Analysen entsprechender Gesteine in Aufschlüssen gleicher Fazies (‘Analoge’) wichtig. Dabei wird der Schwerpunkt darauf gelegt, wie Gesteinsheterogenitäten (insbesondere die Schichtung) die Bruchausbreitung beeinflussen. Geländestudien in unterschiedlichsten Gesteinen — z.B. auch in natürlichen Paläogeothermiefeldern in Großbritannien und Island (Brenner 2003) — haben gezeigt, dass die mechanische Schichtung der Gesteine (insbesondere Änderungen der Steifigkeit) der wichtigste Parameter für die Bruchausbreitung ist. In mechanisch geschichteten Gesteinen sind Brüche häufig auf einzelne Schichten beschränkt und bilden daher seltener zusammenhängende Bruchnetzwerke. Detaillierte Geländestudien werden daher mit der Bestimmung der mechanischen Gesteinseigenschaften ergänzt.

Weiterhin ist es wichtig, das lokale Spannungsfeld möglichst gut zu kennen. Zum einen hängen die Aktivität von Störungszonen und der damit verbundene Fluidtransport vom vorherrschenden Spannungsfeld ab. Zum zwei-

ten wird durch das lokale Spannungsfeld bestimmt, ob Brüche sich ausbreiten können oder gestoppt werden. Zum dritten bestimmt das Spannungsfeld allgemein, ob Brüche eher geöffnet oder eher geschlossen werden (Abb. 2) und damit ob Fluidtransport durch das Bruchsystem stattfindet. Ist die größte Horizontalspannung, σ_H , parallel zum Streichen eines Bruchs orientiert, wird der Bruch offen gehalten, Fluidtransport wird erleichtert. Ist die größte Horizontalspannung, σ_H , jedoch senkrecht zum Bruchstreichen orientiert, wird der Bruch eher geschlossen, Fluidtransport wird erschwert. Das lokale Spannungsfeld kann erheblich vom regionalen Spannungsfeld abweichen. Gesteine mit unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften können das Spannungsfeld auf kleinstem Raum extrem heterogen machen und so die Bruchausbreitung stark beeinflussen (Brenner 2003). Numerische Modelle tragen jedoch erheblich zum Verständnis des lokalen Spannungsfelds sowie der Vernetzung vorhandener und zu schaffender Bruchsysteme und somit des Fluidtransports im Reservoir bei.

Fallstudie: Geothermisches Potential des Buntsandsteins

Im Folgenden präsentieren wir Ausschnitte aus einer derzeit durchgeführten Fallstudie zur Vorhersage von Bruchsystemen und Permeabilitäten im Buntsandstein Niedersachsens (vgl. Hoffmann et al. 2006). Detaillierte Geländestudien wurden in Aufschlüssen der Solling-Folge bei Bad Karlshafen durchgeführt (Abb. 2A). Es liegen zwei orthogonale Kluftscharen (Abb. 2B) mit unterschiedlichen Eigenschaften vor. Von 58 O–W-streichenden Klüften sind 40 (69%) auf einzelne Sandsteinschichten beschränkt. Von

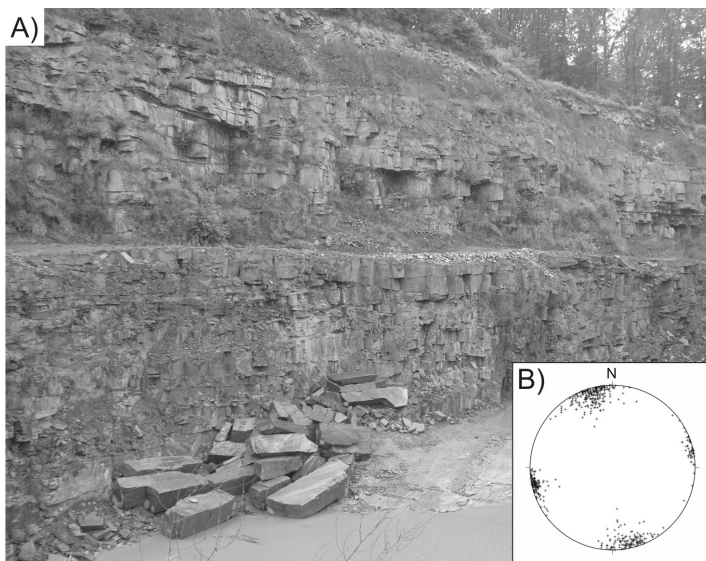


Abbildung 2: Aufschluss im Buntsandstein (Solling-Folge) bei Bad Karlshafen. A) Blick nach NNO, die kurze Bildkante ist etwa 10 m hoch. B) Darstellung von 558 Klüften als Durchstoßpunkte der Flächennormalen im Schmidtschen Netz (flächentreue, äquatoriale Projektion, untere Halbkugel).

129 N-S-streichenden Klüften hingegen konnten sich 71 (55%) durch mehrere Sandsteinschichten ausbreiten. Schon geringmächtige Lagen von Tonstein können viele Klüfte stoppen. Offenbar haben die deutlich unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften von Tonstein (niedrige Steifigkeit) und Sandstein (höhere Steifigkeit) Einfluss auf die Kluftausbreitung.

Auch wenn es unwahrscheinlich ist, dass das im Steinbruch analysierte Bruchsystem genau dem Bruchsystem entspricht, das in der Tiefe angetroffen werden wird können Prognosen auf das vorhandene Bruchsystem im Untergrund getroffen werden. Weiterhin sind Aussagen zur potentiellen Ausbreitung neu zu schaffender künstlicher hydraulischer Brüche möglich, bzw. dazu, wie sich vorhandene Brüche durch Stimulation

voraussichtlich vernetzen werden. Dazu werden aus den in Geländestudien gewonnenen Daten und Informationen über den Untergrund der angestrebten Bohrung numerische Modelle erstellt.

Ähnliche Studien können auch für andere Standorte, Lithologien und Stratigraphien durchgeführt werden. Durch die erläuterten Untersuchungen ist es möglich, optimale Bohrlokalitäten zu bestimmen. Die Wahrscheinlichkeit des Abteufens einer nicht nutzbaren Bohrung wird dadurch minimiert. Ebenso können durch eine geringere Zahl von Bohrungen höherer Effizienz Kosten reduziert werden.

Dank Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für CMs Promotionsstipendium und der Firma Steinbruch Niemeyer, Bad Karlshafen,

strukturgeologische Geländestudien durchführen zu dürfen.

Literatur

- Brenner SL (2003) Field studies and models of hydrofractures in heterogeneous reservoirs. Doktorarbeit, Universität Bergen, Norwegen
- Gudmundsson A, Fjeldskaar I, & Brenner SL (2002) Propagation pathways and fluid transport of hydrofractures in jointed and layered rocks in geothermal fields. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 116, 257–278
- Hoffmann S, Müller C, Philipp SL & Gudmundsson A (2006) Strukturgeologische Geländestudie im Mittleren Buntsandstein zur Nutzung als geothermisches Reservoir (dieser Band)
- Philipp SL, Hoffmann S, Müller C & Gudmundsson A (2005) Verringerung des Fündigkeitsrisikos für tiefengeothermische Projekte durch strukturgeologische Geländestudien und numerische Modelle. *Geothermische Jahrestagung 2005*, 113–124
- Stauffer D & Aharony A (1994) *Introduction to Percolation Theory*. Taylor & Francis, London